

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

2 587 191

(21) N° d'enregistrement national :

85 13911

(51) Int Cl<sup>4</sup> : A 61 B 3/00, 5/10; G 06 F 15/42; H 04 N 3/00.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 19 septembre 1985.

(71) Demandeur(s) : INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE, Etablissement public et THOMSON-CSF, Société anonyme. — FR.

(30) Priorité :

(72) Inventeur(s) : Jacques Charlier, Jean-Luc Bariseau et Vincent Paris.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 12 du 20 mars 1987.

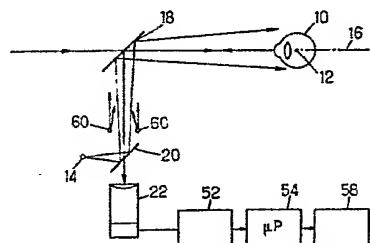
(73) Titulaire(s) :

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Plasseraud.

(54) Procédé et dispositif de mesure de la direction du regard.

(57) Pour mesurer la direction du regard, on éclaire le globe oculaire 10 par une source de lumière, on recueille l'image de l'œil contenant l'image de la pupille et celle du reflet de la source sur le dioptre cornéen et on analyse l'image pour déterminer la position du centre de la pupille et celle du centre du reflet pour en déduire la direction du regard par rapport au système de mesure. On détecte les bords de la pupille et le reflet par comparaison de la différence de brillance entre pixels successifs du champ avec plusieurs intervalles de référence pré-déterminés. Le dispositif comportera des moyens 14 d'éclairage du globe oculaire, une caméra 22 et des moyens d'analyse de l'œil.



A1

FR 2 587 191

Procédé et dispositif de mesure de la direction du regard

La présente invention concerne la mesure de la direction du regard et elle a plus particulièrement pour objet un procédé et un dispositif de mesure de la direction du regard utilisant comme critère de détection la position relative du reflet cornéen et de la pupille. A titre d'exemple, non exclusif, d'application de l'invention, on peut notamment citer l'examen des fonctions visuelles, l'étude des réflexes pupillomoteurs et oculomoteurs et l'étude de l'oculomotricité, aussi bien dans le domaine de la recherche (ergonomie, neurophysiologie, etc) que de l'industrie (simulateurs d'entraînement par exemple).

On a déjà proposé de nombreux procédés de mesure de la direction du regard et construit un certain nombre d'appareils permettant de les mettre en oeuvre. L'approche consistant à évaluer la direction du regard à partir de la position relative du reflet cornéen d'une source lumineuse et de la pupille a de nombreux avantages, du fait qu'elle est atraumatique et permet une mesure indépendante de la position de la tête.

On connaît en particulier (FR-A-2 382 056) un procédé de mesure de la direction du regard, suivant lequel on éclaire le globe oculaire par une source de lumière, on recueille l'image de l'oeil contenant l'image de la pupille et celle du reflet de la source sur le dioptre cornéen et on analyse l'image pour déterminer la position du centre de la pupille et celle du centre du reflet pour en déduire la direction du regard par rapport au système de mesure.

En règle générale, on utilise une source infrarouge non visible pour le patient. A condition de placer la source sensiblement sur l'axe optique du système de recueil d'image, la pupille apparaît sous forme d'un

disque clair (technique dite de la pupille brillante) et le reflet de la source sur le dioptre sphérique constitué par la face avant de la cornée apparaît comme un point brillant.

5 On a proposé plusieurs méthodes de traitement du signal vidéo reçu pour déterminer le centre de la pupille et celui du reflet cornéen. La demande de brevet FR-A-2 382 056 utilise la détermination du barycentre des centres de deux segments de pupille de longueur  
10 définie. On a également proposé de rechercher le barycentre des centres de plusieurs segments de pupille détectés dans une image (Article de J. CHARLIER et col., New instrument for monitoring eye fixation and pupil size visual field examination. Med. Biol. Eng. Compt. 1982,  
15 20, 23-28). On a également proposé la détermination du barycentre de l'ensemble des points de la pupille constitué à partir de différents points du contour pupillaire.

Les résultats sont susceptibles d'être très  
20 influencés par les variations des niveaux de luminance de l'image en fonction de la taille de la pupille, de la transparence des milieux oculaires et de la réflectance de la rétine du sujet ; des variations des niveaux de luminance de l'image en fonctions de l'ambiance ; des  
25 reflets parasites sur la sclérotique ou sur la peau ; des reflets parasites dus à des sources extérieures ou au port de verres correcteurs ; de l'obturation même partielle de l'ouverture pupillaire par les paupières ou les cils.

30 Des tentatives ont été faites pour limiter ces inconvénients. Elles impliquent des réglages manuels dont la qualité dépend beaucoup de la qualification du personnel qui les effectue et qui impliquent l'intervention de ce personnel. En conséquence ces solutions ne  
35 sont satisfaisantes que pour des utilisations en laboratoire. Mais, du fait qu'elles exigent des manipulations

relativement complexes pour effectuer des ajustements tenant compte de l'environnement, elles sont très difficilement transposables à des examens effectués par un personnel moins spécialisé et dans des conditions susceptibles de varier dans de larges limites.

L'invention vise à fournir un procédé répondant mieux que ceux antérieurement connus aux exigences de la pratique, notamment en ce qu'il permet d'identifier les bords de la pupille et le reflet cornéen de façon sûre même dans des ambiances très variables et en particulier de fournir une discrimination très améliorée, et ce en ne mettant en oeuvre que des moyens de coût modéré.

Dans ce but, l'invention propose notamment un procédé du type ci-dessus défini, caractérisé en ce qu'on détecte les bords de la pupille et le reflet par comparaison de la différence de brillance entre pixels adjacents du champ avec plusieurs intervalles de référence prédéterminés.

De façon générale, le procédé permet d'identifier de façon certaine l'image de la pupille et l'image du reflet cornéen. A partir de là, on peut valider les résultats, ce qui facilite la mise en œuvre, aide à écarter les mesures erronées et n'exige pour la mise en œuvre que des moyens de coût modéré.

Des raisons d'économie conduiront en règle générale à adopter un capteur de prix modéré, constitué par une caméra à balayage de type télévision, utilisant des éléments sensibles au silicium ou une matrice de capteur à transfert de charge. Dans ce cas, on explore l'image par balayage vidéo (lignes et trame), on détecte les bords sur chaque ligne et on transmet les coordonnées des pixels correspondant au bord pour chaque ligne à des moyens de calculs.

Toujours dans un but d'économie, il est souhaitable d'effectuer le traitement numérique à l'aide d'un microprocesseur, qui constitue un bon compromis entre la

flexibilité et le coût. Il n'est pas possible, dans la mesure où l'on veut conserver la fréquence des signaux vidéo standard (supérieure à 6 Mhz pour une résolution spatiale de 256 x 256 points et une révolution temporelle de 50 images par seconde), d'effectuer l'ensemble du traitement à l'aide du microprocesseur. Dans un mode de mise en oeuvre avantageux de l'invention, on effectue dans une première étape la recherche des bords de la pupille et celle du reflet cornéen sur chaque ligne de balayage, on mémorise les résultats obtenus, on identifie la pupille et le reflet cornéen et on en détermine la position au cours d'une seconde étape.

Dans certains cas, l'amélioration de discrimination obtenue du fait que l'on travaille sur des différences d'amplitudes reste insuffisante par suite de l'existence de reflets parasites s'ajoutant à ceux de la source sur les verres correcteurs ou sur la peau. En particulier, la discrimination peut être insuffisante lorsque l'environnement comporte des sources extérieures réfléchies essentiellement par la cornée ou lorsque les mouvements sont tels que la surface sclérale devient perpendiculaire au faisceau provenant de la source d'éclairage.

Pour permettre une meilleure discrimination, on utilise avantageusement dans ce cas plusieurs sources auxiliaires présentant une disposition prédéterminée, fournissant sur la cornée des reflets auxiliaires qui peuvent être détectés et identifiés par reconnaissance de formes. On améliore ainsi l'identification du reflet cornéen. Ces sources auxiliaires sont avantageusement dissociées les unes des autres, pour faciliter l'identification du reflet cornéen. On n'obtiendrait pas les mêmes résultats favorables si l'on utilisait une source linéaire constituant un graphème particulier.

Lorsqu'il est également nécessaire d'améliorer la discrimination des bords de la pupille, l'opération

de reconstruction de l'image complète peut être effectuée en prévoyant un critère de sélection supplémentaire, tel que la continuité de la courbure du bord de l'image de la pupille. Grâce à l'application de ce 5 critère de sélection supplémentaire, on identifie les bords de la pupille avec certitude et on peut également déterminer le centre de cette dernière même si l'image ne fournit pas la totalité des bords.

Enfin, la détermination du centre de la pupille 10 peut être réalisé par l'un quelconque des moyens connus. Toutefois, il est particulièrement avantageux d'utiliser un procédé de détermination à partir du tracé mémorisé du bord de la pupille, consistant à rechercher le point pour lequel les variations de distance par rapport aux 15 points successifs de la pupille sont les plus faibles : dans la pratique, ce résultat peut être atteint en utilisant la méthode des moindres carrés. On obtient ainsi une augmentation de la plage de mesure, puisqu'il n'est pas indispensable que la totalité de l'image de la 20 pupille se forme dans le champ du dispositif de visualisation. Grâce à ce processus de reconnaissance de forme, on réduit la sensibilité du procédé à un flou dû par exemple à une erreur de mise au point et on augmente la plage d'utilisation dans les trois dimensions. Enfin, 25 du fait de la capacité accrue d'identification des bords de la pupille et du reflet cornéen, on arrive à les différencier davantage des reflets parasites qui deviennent importants (et interdisent pratiquement la mise en oeuvre de divers procédés connus antérieurement) pour 30 les grands angles d'orientation de l'oeil par rapport au système de mesure, provoquant des reflets parasites sur la sclère.

L'invention propose également un dispositif permettant de mettre le procédé ci-dessus défini, comprenant 35 des moyens d'éclairage du globe oculaire, une caméra à balayage de type télévision destinée à recueillir

l'image de la pupille et le reflet de la source, des moyens d'analyse de l'image et de détermination des bords de la pupille et du reflet, caractérisée en ce que lesdits moyens comprennent un circuit destiné à former  
5 la différence de brillance de deux pixels adjacents du champ de la caméra, un circuit de comparaison de cette différence à des intervalles prédéterminés. Le dispositif comportera de plus des moyens d'identification des bords de la pupille en fonction des résultats de la  
10 comparaison ci-dessus et du reflet. Ces moyens d'identification travailleront avantageusement sur les résultats obtenus sur un nombre de pixels successifs supérieur à 2, généralement inférieur à 10, permettant de détecter la présence du reflet par l'apparition d'une  
15 séquence de niveau constant, d'un front montant, puis d'un front descendant et d'un nouveau niveau constant.

De façon similaire, on identifiera les bords de la pupille par la présence d'un front entre deux niveaux constants.

20 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode particulier d'exécution de l'invention, donnée à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- 25 - La Figure 1 est un schéma de principe de la partie optique d'un dispositif suivant l'invention,  
- la Figure 2 montre une image vidéo de la pupille obtenue à l'aide du dispositif de la Figure 1,  
- La Figure 3 est un diagramme de principe montrant les variations d'amplitude du signal vidéo lors du balayage de la ligne indiquée en Figure 2,  
- La Figure 4 montre le mode d'élaboration des signaux différentiels et de comparaison avec des intervalles de références, mis en oeuvre dans l'invention,  
30 - La Figure 5 est un synoptique de la partie du dispositif permettant la détection des bords de l'image

de la pupille et du reflet cornéen,

Le dispositif qui sera maintenant décrit à titre d'exemple est destiné à déterminer la position instantanée de la direction du regard d'un sujet humain. On 5 considérera que le dispositif reste, par rapport à la tête, dans un domaine tel que le globe oculaire 10 reste au moins en partie dans le champ. Il peut être considéré comme mobile, par rapport au dispositif, en rotation autour d'un centre 12, lui-même susceptible de se dé- 10 placer en translation dans le champ.

Le dispositif comprend une source 14 de lumière infrarouge renvoyée dans le champ de vision, en alignement avec le centre 12, suivant un axe 16 qui sera avantageusement proche de la direction de vision lorsque le 15 globe oculaire est dans sa position médiane; par une lame séparatrice 18 laissant subsister le champ visible pour le sujet et une lame semi-transparente 20. Le faisceau émis par la source 14 (diode électroluminescente par exemple) illumine la face avant du globe oculaire.

20 Le dispositif qui sera décrit est du type dit à "pupille brillante". Pour cela, on fait coïncider l'axe d'illumination 16 et l'axe optique du système de formation d'images. Le dispositif de formation d'image 22, qu'on supposera être une caméra vidicon à capteurs au 25 silicium ou une caméra à transfert de charges reçoit la lumière par l'intermédiaire de la lame séparatrice 18. Les rayons émis par la source 14 pénètrent alors dans l'oeil, sont réfléchis par la rétine et éclairent la pupille par l'arrière avant de revenir vers la caméra 22 30 par réflexion sur la lame 18. Il faut cependant noter que l'invention serait tout aussi bien applicable à un montage optique dit à "pupille noire" de constitution générale connue.

Dans le cas d'un montage optique à "pupille 35 brillante", l'image vidéo fournie par la caméra 22 aura

l'allure montrée en Figure 2. Sur le fond sombre apparaît l'image claire de la pupille 26 et, dans cette dernière en général, le reflet cornéen forme une tache brillante 28.

5        Dans ces conditions, le signal vidéo fourni par la caméra 22 lors d'un balayage d'une ligne 30 traversant la tache 28 aura l'allure montrée en Figure 3. On voit apparaître sur cette figure le signal de synchronisation de ligne 30 puis un front montant 32 correspondant au bord de la pupille, une plage de niveau constant et une séquence 34 d'un front montant 36, d'une plage brève de niveau sensiblement constant puis d'un front descendant 38 correspondant à la tache 28. Enfin, l'autre bord de la pupille apparaît sous forme d'un 10 front descendant 40 entre deux zones de niveau constant. 15

En principe, il serait possible de détecter les bords de la pupille par le franchissement d'un premier seuil  $S_p$  par le signal et ceux de la tache 28 par le franchissement d'un second seuil  $S_c$ . Mais dans la pratique cette solution n'est satisfaisante que dans des conditions de laboratoire. L'invention propose de lui substituer l'approche qui sera maintenant décrite.

On retrouve à la ligne supérieure de la Figure 4 l'allure générale d'un signal de sortie de la caméra que 25 l'on peut considérer comme représentatif. Conformément à l'invention, on mémorise l'amplitude du signal correspondant à des instants successifs, qui seront généralement séparés par des intervalles de temps constants, et on soustrait deux à deux les signaux successifs, pour 30 obtenir l'amplitude différentielle  $\Delta V$  (seconde ligne de la Figure 4).

Cette opération de différenciation élimine l'influence du niveau lumineux de base, sans pour autant introduire de bruit lié à la dérivation électronique. 35 L'opération d'échantillonnage est d'autant plus facile

que des caméras comme celles à CCD fournissent directement des signaux représentatifs de pixels successifs, sous forme numérique ou analogique. Il suffit de faire circuler les signaux successifs numérisés dans un 5 registre à décalage pour disposer simultanément d'autant d'échantillons successifs qu'on le désire.

On compare alors les signaux successifs obtenus pour chaque couple d'échantillon à des intervalles de référence, tels que les intervalles  $\Delta 1, \Delta 2, \Delta 3, \dots \Delta n$  10 montrés en Figure 4. Chacun des signaux différentiels peut être affecté à l'un de ces intervalles. A partir du classement ainsi réalisé, un algorithme de détection combinant plusieurs critères de comparaison prédéterminés permettra de déceler les bords de la pupille et le 15 reflet cornéen.

A titre d'exemple, on a montré sur la Figure 4 les signaux différentiels obtenus à des instants successifs  $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4$  correspondant au bord gauche de la pupille. On voit que ce bord est détecté comme une 20 séquence comprenant une plage de signal de niveau constant, un pic montant puis une nouvelle plage de niveau constant. Le front descendant sera détecté comme une séquence comprenant une plage de signal de niveau constant puis un pic descendant et enfin une nouvelle 25 plage de niveau constant. Le niveau cornéen sera de son côté détecté comme une séquence 42 comprenant un niveau constant, un pic montant, un niveau constant bref, puis un pic descendant. L'algorithme de détection, fonctionnant sur un nombre de points qui peut être beaucoup plus 30 important que dans le cas illustré et pouvant n'utiliser que des pixels échantillons à intervalles prédéterminés, permettra d'identifier les bords de la pupille et le reflet cornéen dans la mesure où la tache 28 est traversée par la ligne de balayage. Les parties du signal 35 significatives pour la reconnaissance des formes sont indiquées en traits épais sur la Figure 4.

Plusieurs algorithmes d'identification peuvent être utilisés simultanément. Par ailleurs, les algorithmes utilisés pour les bords de la pupille et le reflet cornéen comprennent des critères de comparaison 5 communs qui pourront être traités aisément par des circuits logiques identiques.

De plus, aux critères de comparaison portant sur les amplitudes différentielles peuvent être associés des critères supplémentaires portant sur les amplitudes 10 absolues, notamment pour obtenir une meilleure discrimination dans la détection du reflet cornéen, caractérisé par un niveau d'amplitude très élevé.

Le procédé qui vient d'être défini peut être mis en oeuvre par un circuit du genre montré, sous forme 15 simplifiée, en Figure 5. Ce circuit comprend une ligne à retard 44 à  $n$  position. Chaque échantillon à son tour est appliqué à l'entrée 45 de la ligne à retard. On supposera, dans ce qui suit, que le signal est analogique, ce qui implique l'utilisation d'une ligne à retard 20 44 également analogique. Les sorties 0 à  $n$  de la ligne à retard fournissent des signaux représentatifs des échantillons à des instants  $t$ ,  $t-\delta t$ , ...,  $t-n\delta t$ . Ces signaux sont soustraits deux à deux par des amplificateurs différentiels 46 et appliqués à des comparateurs à seuil 25 48. Dans le cas illustré en Figure 5, chaque signal différentiel n'est comparé qu'à un seul intervalle défini par deux valeurs de référence  $v_i$  et  $v_s$  (qui peuvent correspondre aux limites de l'intervalle  $\Delta 1$  sur la Figure 4). Ainsi, les signaux différentiels seront répartis 30 en trois groupes, suivant qu'aucun des deux comparateurs 48, un seul ou les deux comparateurs fournissent un signal logique de sortie.

Tous les signaux logiques de sortie sont appliqués 35 à un réseau 50 destiné à appliquer les algorithmes de comparaison. Dans la pratique, le réseau 50 peut être constitué par des portes en cascade dont les liaisons

sont établies à partir d'un réseau logique programmable ou PLA disponible dans le commerce. Ce réseau comportera des sorties correspondants aux différents échantillons et des signaux logiques seront fournis sur les sorties 5 51 correspondant au bord de début de la pupille, éventuellement au reflet cornéen, et enfin au bord de fin de la pupille.

Les circuits montrés en Figure 5 constituent avantageusement un interface 52 interposé entre la 10 caméra 22 et un organe de calcul à microprocesseur 54 (Figure 1), muni d'une mémoire vive d'accumulation des résultats fournis par l'interface 52 et un interface 58 de sortie, et éventuellement de rétroaction permettant une régulation de l'éclairement et un réglage d'autofocalisation. La détermination du centre de la pupille et du centre du reflet pourra être effectuée par le calculateur 54 par l'une des approches déjà bien connues, 15 par exemple celle décrite dans le document FR-A-2 382 056) déjà mentionné.

20 Comme cela a déjà été indiqué plus haut, la discrimination obtenue peut dans certains cas rester insuffisante en ce qui concerne soit le reflet cornéen, soit les bords de la pupille, soit encore les deux.

L'invention propose également des moyens qui ne 25 sont utilisés qu'optionnellement et permettent d'améliorer la discrimination de l'un et/ou de l'autre.

En particulier, pour améliorer la discrimination en ce qui concerne le reflet cornéen, des sources auxiliaires 60 peuvent être prévues autour de l'axe 30 optique 16 et réparties suivant une configuration géométrique déterminée et reconnaissable. Elles peuvent en particulier être réparties sur un carré centré sur l'axe optique. Le faisceau de lumière fourni par ces sources est essentiellement réfléchi par la cornée et donne 35 naissance à des points brillants supplémentaires 62 (Figure 2) qui reproduiront la disposition géométrique

des sources (sommets d'un réseau carré dans le cas représenté).

L'image résultante reçue par la caméra 22 comprend alors quatre reflets auxiliaires 62 entourant 5 le reflet central 28. Ces reflets auxiliaires seront détectés de la même façon que le reflet 28 car les sources sont séparées et l'organe de calcul 54 pourra les identifier aisément.

Il faut remarquer au passage que l'image des 10 sources auxiliaires est facilement dissociée des reflets sur la sclérotique, car le rayon de courbure scléral est plus important que celui de la cornée et la distance entre les reflets fournis est très accrue. Par ailleurs, 15 la présence de reflets auxiliaires permet d'améliorer encore la détermination de la position du reflet 28, du fait que l'on peut réaliser une pondération entre les résultats des diverses mesures de localisation.

L'identification de la pupille peut être améliorée également par mise en oeuvre d'un procédé de reconnaissance de forme utilisant le fait que cette image de 20 la pupille présente une forme ovale caractéristique (Figure 2). Le critère de reconnaissance de forme est constitué par l'absence de variation brutale de la courbure. Une approche utilisable pour mettre en oeuvre 25 ce procédé sera maintenant brièvement décrit.

L'ensemble des points détectés comme constituant le début ou la fin de la pupille au cours du balayage par lignes est mémorisé et l'organe de calcul établit une séquence de points dont les distances relatives sont 30 inférieures à un seuil prédéterminé et calcule la longueur de chaque chaîne (définie comme le nombre de points lui appartenant) et la pente locale, entre points successifs.

Les pentes successives sont ensuite comparées 35 entre elles. Pour toute variation de la pente d'un point à un autre, qui est inférieure à un seuil déterminé, on

incrémente un compte représentatif de la constance de la courbure d'une unité. Au contraire, pour tout changement de signe ou pour toute variation brutale, on décrémente d'une unité. Toutes les chaînes qui finalement ne cor-  
5 respondent pas à un compte dépassant un seuil prédéter- miné sont éliminées. Et les chaînes validées sont uti- lisées seules pour calculer le centre de la pupille, ainsi que la surface de la pupille lorsqu'on le souhaite.

10 Ce mode de détermination suppose que l'on utilise le cercle comme modèle de la pupille. Il peut dans d'autres cas être utile d'utiliser l'ellipse ; l'algorithme de détermination du centre sera alors modifié.

15 Non seulement les méthodes ci-dessus permettent d'identifier la pupille avec davantage de sécurité, mais aussi elles fournissent un critère de qualité de l'image traitée et un critère d'optimisation de l'éclaircement des différentes sources de l'appareil, éclaircement opti-  
20 mal correspondant à la valeur maximale du critère de qualité. Elles permettent également de fournir un cri- tère aidant à la réalisation d'une autofocalisation.

**REVENDICATIONS :**

1. Procédé de mesure de la direction du regard, suivant lequel on éclaire le globe oculaire par une source de lumière, on recueille l'image de l'oeil dans un champ d'examen contenant l'image de la pupille et celle du reflet de la source sur le dioptre cornéen et on analyse l'image pour déterminer la position du centre de la pupille et celle du centre du reflet pour en déduire la direction du regard par rapport au système de mesure, caractérisé en ce qu'on détecte les bords de la pupille (26) et le reflet (28) par comparaison de la différence de brillance entre pixels adjacents du champ avec plusieurs intervalles de valeurs de brillance de référence prédéterminés.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on explore l'image par balayage vidéo (lignes et trame), on détecte les bords de pupille sur chaque ligne et le reflet et on transmet les coordonnées des pixels correspondant au bord, pour chaque ligne, à des moyens de calcul (52,54).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue dans une première étape la recherche des bords de la pupille et du reflet sur chaque ligne de balayage, on mémorise les résultats obtenus, puis on identifie la pupille et le reflet cornéen et on en détermine la position au cours d'une seconde étape.

4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'on utilise plusieurs sources auxiliaires (60) présentant une disposition prédéterminée, fournissant sur la cornée des reflets auxiliaires qu'on détecte et identifie par reconnaissance de formes.

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que les sources auxiliaires sont dissociées entre elles.

6. Procédé selon la revendication 2, caractérisé

en ce qu'on identifie, sur chaque ligne les bords de la pupille par la présence, sur une ligne, d'une séquence constituée par une brillance constante, puis une différence représentant un front montant ou descendant, et de 5 nouveau, une brillance constante.

7. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on identifie le centre de la pupille à partir des bords ou d'une portion des bords de cette dernière par recherche du point dont la distance aux 10 divers points du bord présente un minimum de variation.

8. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'on reconnaît les bords de la pupille par reconnaissance de forme dont le critère est constitué par l'absence de variation brutale de la courbure.

15 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'on mémorise l'ensemble des points détectés comme constituant le début ou la fin de la pupille au cours du balayage par lignes, on établit par le calcul une séquence de points dont les distances relatives sont 20 inférieures à un seuil prédéterminé, on calcule la longueur de chaque chaîne (définie comme le nombre de points lui appartenant) et la pente locale, entre points successifs et on compare les pentes successives entre elles.

25 10. Dispositif permettant de mettre en oeuvre le procédé suivant la revendication 1, comprenant des moyens (14) d'éclairage du globe oculaire, une caméra à balayage de type télévision (22) destinée à recueillir l'image de la pupille et le reflet de la source, des 30 moyens d'analyse de l'image et de détermination des bords de la pupille et du reflet, caractérisé en ce que lesdits moyens comprennent un circuit destiné à former la différence de brillance de deux pixels successifs du champ de la caméra, un circuit de comparaison de cette 35 différence à des intervalles prédéterminés et des moyens d'identification des bords de la pupille en fonction des

résultats de la comparaison ci-dessus et du reflet.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que les pixels successifs comparés sont prélevés à intervalles déterminés dans les pixels d'une 5 ligne de champ.

12. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que la présence du reflet est détectée par l'apparition d'une séquence de niveau constant, d'un front montant puis d'un front descendant et d'un nouveau 10 niveau constant.

13. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite caméra est à balayage de type télévision et en ce que la différence est effectuée entre pixels successifs d'une même ligne.

15 14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que le circuit de comparaison constitue un interface fournissant un signal représentatif de la position des bords de la pupille et des bords du reflet à un circuit à microprocesseur de 20 détermination du centre de la pupille et du centre du reflet.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend également des sources auxiliaires présentant une disposition prédéterminée autour 25 de la source d'éclairement et en ce que lesdits moyens à microprocesseur sont prévus pour identifier ladite disposition dans l'image.

1/3

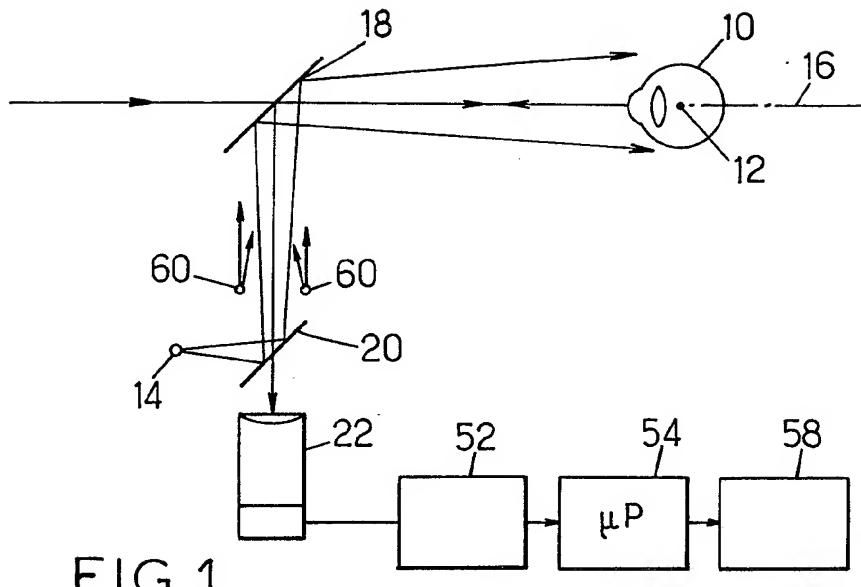


FIG.1.

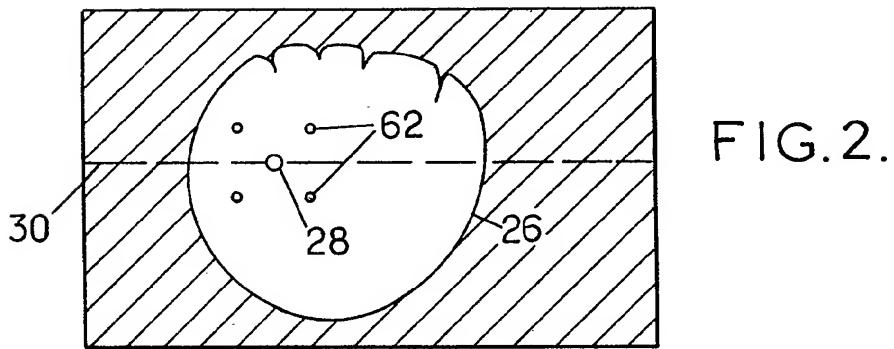


FIG.2.

2/3

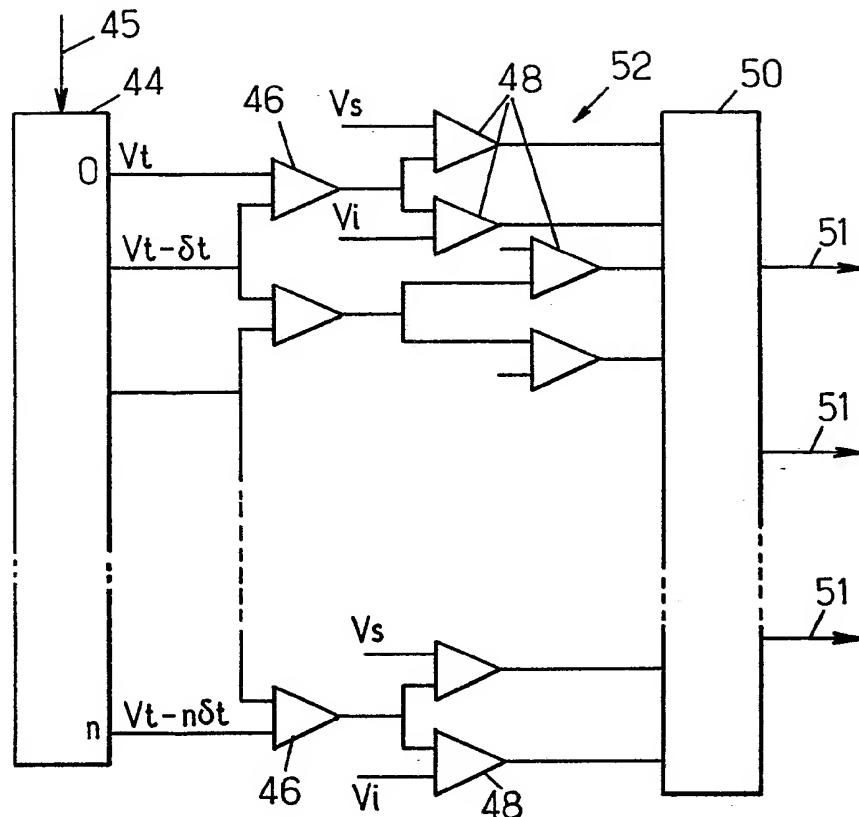


FIG. 5.

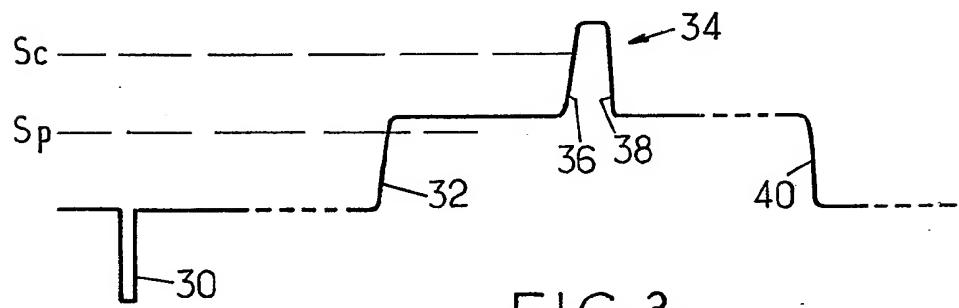


FIG. 3.

3/3

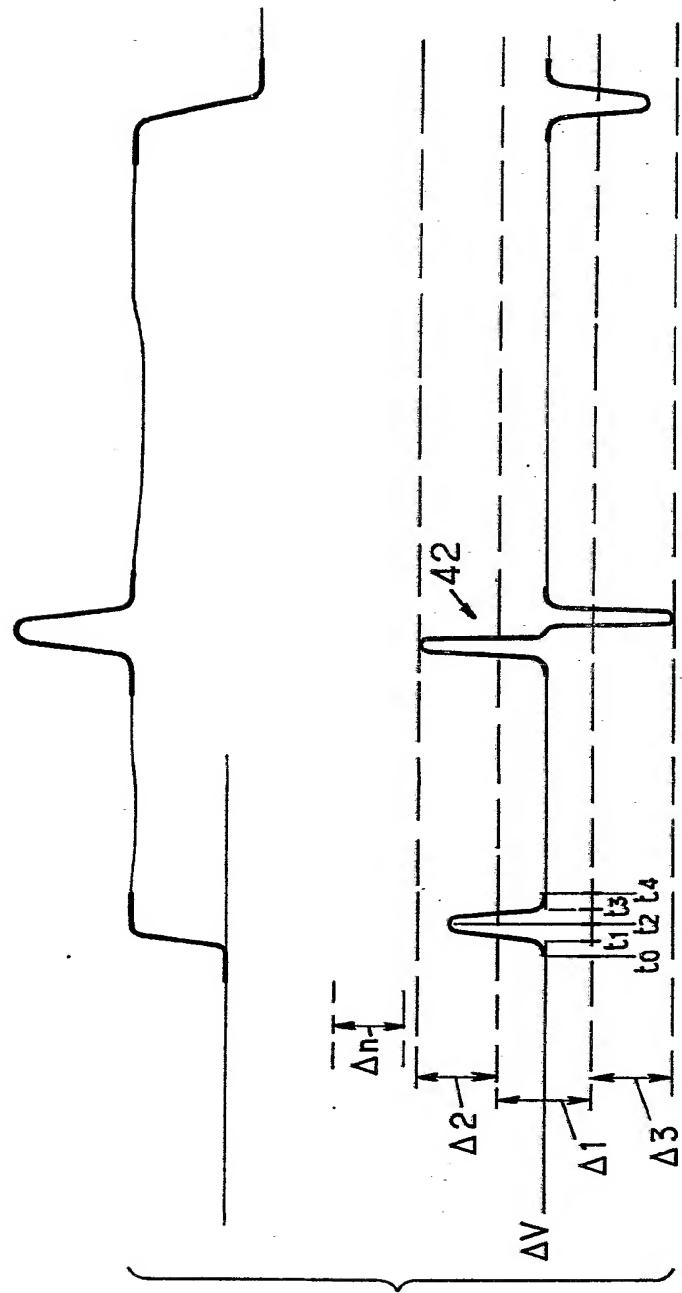


FIG. 4.